

ПРОФИЛИРОВАНИЕ И РАСЧЁТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ РАДИАЛЬНО-ОСЕВОЙ ТУРБИНЫ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГОДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Р.О. Ишаев, Н.С. Маркелов

Научный руководитель: кандидат физ.-мат. наук С.В. Мосолов

Государственный научный центр Российской Федерации – федеральное государственное
унитарное предприятие «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша»,

Россия, г. Москва, ул. Онежская, 8, 125438

Е-mail: rin9244@yandex.ru

На основе анализа процессов в турбине, выявлены требования надёжной работы турбины.

Таблица 1. Надёжность турбины

№	Условия	Требование надёжности	Способ выполнения требования
1	Бесконтактные опоры.	Высокий КПД при зазорах (1-1,5 мм) между РК и статором.	Газодинамическое совершенство проточной части и исключение изгибающего момента, действующего на лопатки
2	R– 100000 ч.; n – 6283 рад/с.	Сопротивление от действия стационарных центробежных сил.	
3	Твх 1200-1500К	Сопротивление температурным деформациям и ползучести.	Использование материала высокой теплопроводности.

В процессе проектирования проточной части радиально-осевой турбины необходимо обеспечить максимальный КПД при высокой надёжности. Анализ и сравнение турбин [1,2] позволяет сделать вывод, что в радиально-осевых турбинах уделяется все большее внимание профилированию лопаток в связи с ростом нагрузок. Исходные данные получены на основе расчёта по [3], или с помощью программы «Radial Turbine Design»[4].

Уравнения контуров лопатки (1) и (2) получены на основе уравнения эллипса, уравнения параметрического закручивания и параметрического уравнения поверхности вида $(x = x(u, v), y = y(u, v), z = z(u, v); (u, v) \in G$, где u, v - параметры) где параметр u заменён на v .

$$\begin{cases} X_{\text{пр}(v)} = \left(\left(\frac{d_{\text{пер}} - D_2}{2} \right) \left(\sqrt{\frac{f^2 - (v)^2}{f^2}} \right) + \frac{D_2}{2} \right) \sin\left(\frac{v \cdot \pi \cdot \theta \mp f \cdot \delta \cdot \pi}{f \cdot 180}\right) \\ Y_{\text{пр}(v)} = \left(\left(\frac{d_{\text{пер}} - D_2}{2} \right) \left(\sqrt{\frac{f^2 - (v)^2}{f^2}} \right) + \frac{D_2}{2} \right) \cos\left(\frac{v \cdot \pi \cdot \theta \mp f \cdot \delta \cdot \pi}{f \cdot 180}\right) \\ Z_{\text{пр}(v)} = v \\ v \in [0, f] \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} X_{\text{в}(v)} = \left(\left(\frac{d_{\text{вт}} - D_2}{2} \right) \left(\sqrt{\frac{-(v)^2}{(f + b_2)^2} + 1} \right) + \frac{D_2}{2} \right) \sin\left(\frac{v \cdot \pi \cdot \theta \mp (f + b_2) \cdot \delta \cdot \pi}{(f + b_2) \cdot 180}\right) \\ Y_{\text{в}(v)} = \left(\left(\frac{d_{\text{вт}} - D_2}{2} \right) \left(\sqrt{\frac{-(v)^2}{(f + b_2)^2} + 1} \right) + \frac{D_2}{2} \right) \cos\left(\frac{v \cdot \pi \cdot \theta \mp (f + b_2) \cdot \delta \cdot \pi}{(f + b_2) \cdot 180}\right) \\ Z_{\text{в}(v)} = v \\ v \in [0, f + b_2] \end{cases} \quad (2)$$

Пример построения контуров в системе Mathcad показан на рис. 1. В САПР SolidWorks для создания контура лопатки на поверхности вращения используется команда «сплайн на поверхности». Модель спрофилированного рабочего колеса показана на рис. 2.

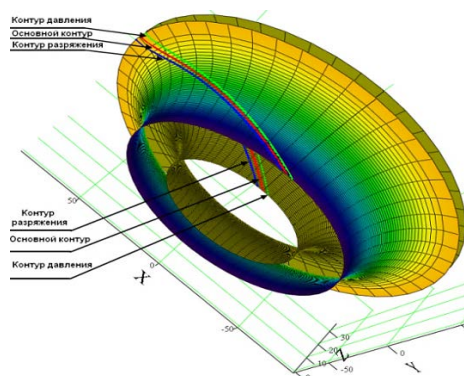


Рис. 1. Контуры лопатки



Рис. 2. Модель рабочего колеса 3D

На основе геометрии спрофилированного рабочего колеса и деталей корпуса, производился 3D расчет в программе ANSYS CFX. По результатам численного моделирования радиально-осевой турбины был получен показатель КПД = 0,835 [5,6]. В рамках экспериментальных исследований турбины работы проводились на модельных режимах и модельном рабочем теле (фреоне) в КБХиммаш. Испытания проходили при различных зазорах между ротором и статором турбины. Сравнения результатов испытаний и 3D расчёта показало их хорошее совпадение по КПД см. рис.3.

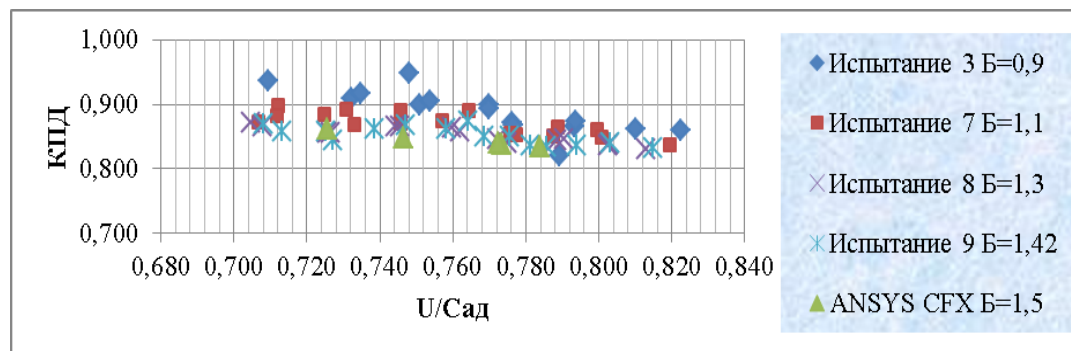


Рис. 3. Зависимость КПД турбины от $u/с/ад$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Иностранные авиационные двигатели и газотурбинные установки: справочник (по материалам зарубежных публикаций.) – Вып. 15 (2010). – М.: Изд-во ЦИАМ, 2010. – 413 с.: ил.
2. Газотурбинные установки. Атлас конструкций и схем / Под редакцией чл.-корр. АН УССР Л.А. Шубенко-Шубина. – М. Машиностроение, 1967, 167 с.
3. Шерстюк А.Н., Зарянкин А.Е. Радиально-осевые турбины малой мощности. – М. Машиностроение, 1976.
4. Программа для ЭВМ «Программа проекторночного газодинамического расчёта проточной части осерациальных газовых турбин для транспортных систем Radial Turbine Design 1.0», свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2011613903 от 19.05.2011.
5. Патент на изобретение РФ №2612309, 2017 г. Центростремительная турбина / С.В. Петрунин, Р.О. Ишаев, Н.С. Маркелов, А.А. Кукольников. Заявлено 26.10.2015; Оpubл. 06.03.2017.
6. Ишаев Р.О. Совершенствование проточной части высокотемпературных осерациальных турбин с увеличенным зазором между рабочим колесом и корпусом // Итоги диссертационных исследований Том 2, -Материалы VII Всероссийского конкурса молодых ученых, посвященного 70-летию Победы. – М.:РАН, 2015, с.10-15.